

Andrea Dapor
Wydział Fizyki,
Uniwersytet Warszawski

PIERWOTNA KOSMOLOGIA KWANTOWA I EFEKTYWNE CZASOPRZESTRZENIE

Streszczenie

W niniejszej rozprawie doktorskiej zaproponowana została kwantyzacja kosmologicznych perturbacji na kwantowym kosmologicznym tle. W tym celu wprowadzone zostało nowe klasyczne sformułowane kosmologicznej teorii zaburzeń. Różni się ono od standardowego sformułowania (nie do przyjęcia z punktu widzenia kwantyzacji pola grawitacyjnego, ponieważ zależy od klasycznego tła) głównie tym, że jednorodne, izotropowe stopnie swobody jak i (skalarne i tensorowe) zaburzenia są dynamiczne, a ich ewolucja jest zadana przez nieznikający fizyczny hamiltonian. Konstrukcja ta zastosowana została do istotnego fizycznie przypadku pola skalarnego (tj. inflatonu) minimalnie sprzężonego z polem grawitacyjnym.

Następnie model został skwantowany na podstawie tak zwanego przybliżenia pola testowego (ang. "test field approximation"): stanowi je założenie, że ciężkie stopnie swobody reprezentujące jednorodną kwantową geometrię odprzegają się od lekkich stopni swobody reprezentujących zaburzenia. Pokazane zostało, że w tym przybliżeniu można wycałkować geometryczne stopnie swobody, a otrzymana w ten sposób funkcja falowa zaburzeń spełnia równanie Schrödingera. Kwantowy hamiltonian w tym równaniu przyjmuje postać zespołu niesprzężonych ze sobą oscylatorów harmoniczych (po jednym dla każdej składowej Fouriera), których częstotliwości zależą od wartości oczekiwanych pewnych zależnych od czasu operatorów geometrycznych. W ten sposób zrealizowana została tak zwana kwantowa teoria pola na kwantowej czasoprzestrzeni.

Otrzymana teoria może być porównana z teorią efektywną, która opisuje dynamikę tego samego pola na klasycznym tle. Pokazane zostało, że jeśli wyjściowe pole inflatonowe nie ma potencjału, to porównanie to prowadzi do szczególnej efektywnej czasoprzestrzeni, której efektywna metryka jest dana przez wartości oczekiwane geometrycznych operatorów na stanie kwantowej geometrii. Przypadek ten uogólniony został do przypadku masywnego pola i pokazane zostało, że prowadzi to do zależnej od składowej Fouriera efektywnej czasoprzestrzeni: każda składowa pola oddziałuje z kwantową geometrią w nieco inny sposób, "interpretując" ją jako zadaną przez nieco inną efektywną metrykę. Może wydawać się, że jest to egzotyczne zachowanie, jednakże jest to sytuacja zupełnie analogiczna do propagacji fotonów w kryształach: fotony o różnych energiach oddziałują w różny sposób z kwantową strukturą ośrodka i w rezultacie ich trajektorie są odchylane w różny sposób; na poziomie teorii efektywnej można myśleć o takich fotonach jako poruszających się w zależnej od energii metryce, tak żeby trajektoria danego fotonu była geodezyjną zadaną przez odpowiadającą mu metrykę.

Następnie zbadana została modyfikacja zależności dyspersyjnej dla otrzymanej metryki zależnej od składowej Fouriera i pokazane zostało, że jest ona kontrolowana przez pojedynczy parametr (o którym można myśleć jak o "współczynniku załamania" dla kwantowego stanu geometrii). Parametr ten jest wrażliwy na kwantowe fluktuacje geometrii i znika, jeśli stan jest semi-klasyczny. Wyjaśnia to, dlaczego nie obserwujemy dzisiaj łamania symetrii Lorentza. Jako, że oczekuje się, że w dalekiej przeszłości stan wszechświata dalece odbiegał od stanu semi-klasycznego, zbadane zostały

efekty we wczesnych stadiach ewolucji wszechświata i zaproponowane zostały najnowsze ograniczenia (ang. "bounds") opierające się na promieniowaniu Czerenkowa fotonów w grawitony. Parametr ten został oszacowany również w pętlowej kwantowej kosmologii i potwierdzona została zgodność z obserwacjami. Na koniec zbadany został inny efekt otrzymanej efektywnej metryki, który prowadzi do poprawki w spektrach mikrofalowego promieniowania tła, który potencjalnie może być zaobserwowany w niedalekiej przyszłości.